

## V

## IMP—数学相互学習プログラム

佐 分 利 豊

## 1 はじめに

本年3月4日、福井大学教育地域科学部数学教室による「ワークショップ IMP—数学相互学習プログラムに学ぶ」が開かれました。

IMP (Interactive Mathematics Program) —数学相互学習プログラムというのは、現在、アメリカの高等学校で実施されている数学学習のプログラムです。それは、現実世界の問題や、学び手の知的好奇心を刺激するような問題の解決をめざす過程で、学び手みずからが数学的な概念や手法を開発・習得することをめざした協働学習のプログラムとなっています。大きな物語の中での問題設定により、学び手の関心をひきつけるとともに、数学を学ぶ意義が自然に理解されるように工夫されています。問題解決型の協働学習により、学び手が、互いに力を合わせる能力、口述・筆記の両面でのコミュニケーション能力、さらに数学学習への自信と、みずから学ぶ力の獲得を可能にしています。IMP は、OECD PISA が提唱する「数学化サイクル」にそった学習を先どりしたプログラムであるともいえます。

本稿の目的は、この IMP の紹介を行うことです。そのために、その開発・実施のリーダーの一人であるシェリー・フレーザーさんによる「数学相互学習プログラムのデザインと開発」の拙約を、著者の了承を得て掲載します。これは、2005 年に米国科学財団 (NSF, National Science Foundation) が行った数学カリキュラムのデザインと開発に関するシンポジウムにおける報告の原稿です。当事者自身による、その開発の理念とその過程の簡潔な記述であり、その紹介にはうってつけの文章であると考えます。

上で述べましたように、IMP は、福井大学教育地域科学部の附属学校がとりくんできた「体験にもとづく探究と協働の学習」と同一のカテゴリーに属する学習プログラムであるといえます。従って、附属学校における教育にたずさわってこられた人々にとって、このフレーザーさんの報告は、多くの点で皆さんが行ってこられた教材開発と実践を再確認する内容となっているのではないかと想像します。しかし、来年度、福井大学で新設予定の教職大学院の基本的コンセプトもやはり「体験と探究と協働の学習」とされています。その意味で、これからそこでの学習と研究にたずさわることになる人々にとっても、参考となる内容をそなえているようにも思われます。さらに、一般に、こうした教育改革にとりくむために、こういったことが求められるのかということを学ぶ上での貴重な資料となっているようにも思われます。

とはいえ、この機会に、今、何ゆえに体験にもとづく探究と協働の学習なのかということについての、私自身の文化の側面からの考察も簡単に述べさせていただこうとも思います。従いまして、本稿の構成は、以下、第2節で学び手の文化の側面から見た「体験に基づく探究と協働の学習」について述べ、第3節でフレーザーさんの「数学相互学習のデザインと開発」の翻訳紹介ということにしたいと考えます。

## 2 学び手の文化の側面から見た「体験にもとづく探究と協働の学習」

### (1) 学び手を取りまく社会的・文化的環境の変化

今日、理科離れや数学離れという言葉が日本の教育界のそこかしこから聞こえてきます。少なくとも、これまでの数学教育のままでなかなかうまく機能しないという意味で、私自身はこの現象を数学教育の機能不全と呼んでいます。なお、私自身は理科教育との関わりを持っていませんので、そちらに関する言及は避けます。

さて、ここ40数年にわたるIEA（国際教育到達度調査）による数度の国際数学教育調査の結果によると、日本の数学教育は常に上位にランクされ続けてきました。それは、相対的とはいえ、日本の算数・数学教育の成果といえるのだと思います。しかし、そのことをもって、この分野を「日本のお家芸」と呼ぶというようなことがあったものの、何ゆえに日本の算数・数学教育がそれなりに機能したのかという説明の方は、ほとんど聞いたことがありません。同様に、今日の数学教育の機能不全の要因の分析についてもほとんど聞こえてきてはいません。私自身は、この問題に対する適切な対応策についてあまり聞こえてくることがないのは、この辺に原因があるのではないかと観測を行っています。

私自身がこれらの問題をどのように見ているのかといえば、「日本のお家芸」を支えたのは、江戸時代以来のそろばんの普及を基礎とする算術文化ではなかったのかということですから。つまり、これまでの算数・数学教育を支えた社会的・文化的環境として人々の間に広範に普及した算術文化があったのではないかと観測を行っているのです。江戸時代のそろばん教育のシステムは、商業や土木・建築にたずさわる人々の生活そのもののものに埋め

こまれていたといえるほどのものであったようです（川本、1999）。また、市場経済の進展は、貧しい農民の子供たちをも寺子屋に通わせることとなったともいわれています（梅村、1999）。明治以降、学校ではそろばんではなく筆算を教えられることとなり、また、西欧の数学文化がまたたく間に吸収・普及されることとなりましたが、それを下支えしたのも江戸時代以来の算術文化の普及と、高い数学文化であったといっているのではないかと思います。しかし、この20年ほどは、電卓や、レジ、そして自動販売機の普及とともに人々の生活の中での算術文化もずいぶんとやせ細り、算数・数学教育を支える社会的・文化的環境をなしているとはいえない状況にあります。

また、IEAの調査における日本の相対的高得点が、国連子どもの権利委員会の勧告で指摘された、あまりに競争的な教育システム、すなわち受験競争の激しさによるものであったという点もおさえておく必要があるでしょう。とはいえ、いまだに受験競争の激しさが残っているとはいえ、この競争も徐々に緩和されつつあるというのも事実でしょう。

こうしてみると、これまでの学校における算数・数学教育を支えてきたふたつの社会的・文化的要因がかなりの程度に消滅してしまった、あるいは消滅しつつあるといえるように思われます。つまり、今、私たちに問われているのは、こうした社会的・文化的環境の変化のもとで、算数・数学教育をどのように組み立てたらよいのであろうかという問題なのではないかということです。こうした環境の下では、やはり、学び手が学ぶ意義を自然に理解できるような算数・数学教育というものが、あらためて求められているのだと思います。また、コンピューター技術の普及などにより、学び手の生活環境から、彼らが生きていく上で必要とされる素朴な体験がずいぶんとなくなってきました。算数・数学などにおける抽象性の高い概念は、その獲得に至る具体的な体験を不可欠としていますので、どうしても具体的な体験にもとづく学習の組み立てというものが求められます。さらに、今日のように日々急激に変化をとげるような社会的環境のもとでは、その変化に自力でついていける力が求められます。つまり、みずから学ぶことのできる力というものが求められるわけですが、そうした力をつけるためには、やはり探求的学習の体験を積み重ねる以外にはないのではないかと思います。さらに、これほどに激しい変化に対応するためには、個人のガンバリでは限界があり、チームによる知恵や視点の出しあいという協働作業が求められるということでもあります。協働作業の能力は、温暖化などの厳しさの増す環境問題や、多文化共生という今日的課題への対応という点からも求められているという点も指摘しておきたいと思います。なお、協働作業におけるコミュニケーションは、単なる意思疎通というところを超えて、学び手みずからに自分自身の考えに対する反省的思考をうながすという点で、それ自身、学びを洗練させ、豊かにふくらますという役割を持っているのだという点の指摘も行っておきたいと思います。

つまり、こうした時代環境においては、学び手にとっての本来的な学びが求められるということなのではないでしょうか。冒頭に述べた本年3月の「ワークショップ IMP—数学相互学習に学ぶ」において、大方の参加者からIMPへの賛同がえられたもの、以上の事情

を反映してのことであろうと想像しています。とはいえ、参加者の中には、(IMP が日本の実情にあっていないとして、) 日本の実情にあった数学教育をとの声もあったこともつけ加えておきます。

## (2) 学びの文化・パラダイムの転換は簡単ではない

とはいえ、こうした学びの文化を変えるという作業も、それほど単純に進めることのできるものでもないようです。それは、教育者と学び手の双方にとって、身についた文化を変えるということが、容易なことではないという事実によるのだと思われます。実際、IMP の場合でも、教員の職能育成が、カリキュラム開発と同程度に重視されているといわれています。一方、学び手にとっても、これまで、数学の学びとは、数学の言葉で書かれた問題を解くためのアルゴリズムの習得であると理解していたものが、現実世界の具体的な問題から数学を導き出すとか、協働で議論をとかいわれても、すぐにそうしたパラダイム転換に入っていけるわけではないようです。実際、福井大学教育地域科学部の附属中学校においても、附属小学校以外からの新入生が新たな学びのスタイルになじめるようになるには、それなりの時間を要するともいわれているようです。

先に、IMP が日本の実情にあっていないとして、日本の実情にあった数学教育をとの声があったことを述べました。アメリカの場合でも、伝統的な数学教育の方がよいと考える人たちが、教員の中にも、学び手の中にも、保護者の中にもいます。一般に、新たな試みを受け入れがたいとする反応は、どういった場合でも起こりうるものかもしれません。そのため、IMP では、IMP を導入するという高等学校の場合でも、学校全体を IMP のクラスにするということではなく、伝統的な数学のクラスも残すようにとのアドバイスをを行っているとのことでした。この点は、日本における教育改革を進める上でも、大いに参考とされるべきことのように思われます。

最後に、IMP の場合、学び手が書いた各單元ごとの学習のまとめとしてのポートフォリオが、多くの大学で入学選抜の資料として用いられているとのことでもあります。この点も改革を支える大きな要素となっているものと考えられますので、あえて紹介をしておきます。

## 文献 (第2節)

川本亨二 (1999) 『江戸の数学文化』 岩波科学ライブラリー70

梅村佳代 (1991) 『日本近世民衆教育史研究』 梓出版社 (1991)

それでは、IMP の開発・実施のリーダーのひとりであるシェリー・フレーザーさんによる「数学相互学習プログラムのデザインと開発」の拙約を第3節で紹介いたします。

## 3 数学相互学習プログラムのデザインと開発 (Fraser, 2005)

1988年、カリフォルニア州は、ウォルター・デンハムのリーダーシップのもとに、高等学校の数学の伝統的な組み立てを全体的に改編する要請を提出した。そこでは、代数Ⅰ—幾何—代数Ⅱといったものに替えて、問題解決や、推論、およびコミュニケーションといったところに主要な目標をおく今日的な数学のカリキュラムが求められていた。新しいカリキュラムには、統計や離散数学を含めることや、最新の科学技術の手段を用いることも求められていた（CPEC, 1988）。加えて、新しいカリキュラムは、すべての大学進学希望者の要求を満たすとともに、大学への予備課程の学生、特に女子やマイノリティの学生数の自然減少を小さくすることにもつながるような十分に柔軟性を持つものでなければならなかった。数学相互学習プログラム（IMP, Interactive Mathematics Program）の開発と実施のために、カリフォルニア高等教育委員会（California Postsecondary Commission）や、米国教育省、および米国科学財団（National Science Foundation）からの公的資金援助が開始された。ノイス財団や、デービッド & ルシル・パッカード財団、サンフランシスコ財団、スチュアート財団、およびインテル財団などの私的財団による援助と支持も得られることとなった。

**2005年に至る急速な展開** 問題解決型の4年間の包括的な数学のプログラムの出版にこぎつけるまでには、10年以上の研究と、先行実験、評価、実践検証、改訂、そしてこの分野の専門家による細部にわたる見直しといったことがなされてきた。IMPのカリキュラムは、米国内で数千人の教員の間で用いられている。また、スペイン語や、フランス語、朝鮮語、ハワイ語、および中国語にも翻訳されている。IMPは、1988年の改革案の提出からどのような過程を経て今日の包括的なプログラムにまで成長したのであろうか。今日、それは、地域支援センターや、教員の力量アップのための講習、さらには教員指導者や地域センターのディレクターを擁するまでに至っている。

## （1）プログラムのデザイン

### ①カリキュラム

**意味のある数学** IMPのカリキュラムは、実際の数学に焦点を当て、抽象的概念を具体的な体験を通して理解することをねらいとしている。こうしたカリキュラムのアプローチは、数学者であり教育研究者でもあったハンス・フロイデンタールによって「現実的数学教育（Realistic Mathematics Education）」と形容されている。フロイデンタールは、数学の実際的な探求が、学生に彼ら自身の考え方や数学化の方法を作り出す機会を提供し、また、現実的な場面において数学がどのように適用されるのかということを理解する能力を培うということに気づいたのであった（Kravemeijer, 1994）。このアプローチは、学生の広範な要求に応えるだけでなく、個々人の学習スタイルを生かすものでもある。

私たちは、IMPのカリキュラムにおいて、14才の子供たちにとって数学が受けいれやすいものとなるように、抽象的なアイデアをできるだけ具体的に導入したいと考えた。伝統

的な数学のカリキュラムにおいては、新しい学習項目に入る際、まず抽象的な一般論の提示から始め、しかる後に、学生にその一般論を特定の問題に適用することを求めるというのが普通である。だがしかし、大半の人々にとっては、実際的で現実的な場面から始める方が、より効果的に学ぶことができるのである (Turdell and Papert, 1992)。学び手は、問題の細部と関わりを持つことで学びを進めることができるのであり、その体験に基づいて一般化をなすことができるのである。

**問題解決への焦点** 問題解決のコンテキストを有する数学の学習は、学生たちが、数学的に考えたり、あるいは代数や、幾何、三角関数、統計、および確率といった数学のあらゆる分野における技法と概念を相互に関連づけるということを誘発する。学生は、それまでに見聞きしたことのない明確な意図をもったプロジェクトや、スケールの大きな問題解決のカリキュラム題材に出会う時、気取りのないありのままの自分自身の理解や体験を用いることが求められる。数学の学習はそうした理解の上に築かれることになるのである

(Kilpatrick, 2003)。ある種の学生にとっては、「これは試験に出るから」とか「これは来年使うことになるから」といったことが動機づけになるのであるが、大半の学生は、数学を学び続ける上でのより本来的な動機を必要としているのである。高等学校の教育者たちには、数学が自分自身の未来の一部をなすと考えている学生だけにではなく、すべての学生に手をさし伸べることが求められている。

**学習項目のとりあわせ** 当初の資金援助において、カリフォルニア高等教育委員会は、カリキュラムの項目がカリフォルニア大学の新入生に期待される数学的な内容をみたとことを求めていた。米国数学教員協議会 (NCTM, National Council of Teachers of Mathematics) による 1989 年の『カリキュラムと評価のスタンダード』がちょうど出版されたばかりの時であった。IMP のディレクターたちは、これらの二つの文書を導きに、『NCTM スタンダード』が推奨している数学の諸技法を項目群とするカリキュラムの編成を行った。しかし、細分的な項目群に個別にとりくむということではなく、より大別的な枠組みでの項目群に統合する形で開発を行うことにした。そのめざすところは、学生に、数学的な概念と技法およびその応用について、踏みこんだ、しかも密接な連関性をもった理解をさせるための、4 年間を通した支援を行うというであった。そして、IMP のカリキュラム開発にたずさわった者が最初に答えなければならない問題は、次のものであった。すなわち、K9 (日本の中 3) における学習項目群をどのように導入し、さらに、それぞれの項目群について、それ以前の学年での学習体験を基盤として、どのような積みあげを行っていくのかということであった。

**単元のデザイン** 私たちは、各々の項目群を 6~8 週間の単元として編成することにした。加えて、それぞれの単元を、中心的な問題またはテーマの導入から始めることにした。学生は、それぞれの単元を通してそれらの問題について探求し、解決に至ることになるのである。各単元は、課題と作業の単なるよせ集めということであってはならない。数学の学習は密接な連関性を持たなければならないからである。学生たちが行うことは、いずれも

最終的な目標と明らかな結びつきを持つものであること、しかも広範囲にわたるさまざまな作業課題であること、かつ、後に有用となるいくつかの一般的なアイデアの明確化と統合につながるものということではなければならない。各単元は、諸項目が幅広さをもって織りあわされ、かつ、一つの、あるいはさらなる一体化に至るいくつかのアイデアを深めるというものでなければならない。

それぞれの単元は、すべての側面にわたる数学の力を発達させ、学生が協力しあい、あるいは独自に学習することを支え、学生の数学に対する積極的な姿勢をはぐくみ、そして歴史的、社会的、および職業に関する情報を考慮に入れたものであることが求められる。さらに、評価はその単元の教育内容と結びついたものであることが求められる（California Mathematics Framework, 1992）。各単元の開発にあたっては、その単元の適切性を確保するためのガイドとして以下のチェックポイントが用いられた：

- その題材は知識の重要な領域における典型例となっているか。
- その単元において、数学が自然にたち現れているか。
- その単元の理解に必要な数学的なアイデアで、欠けているものはないか。
- その単元は自然な結びつきを持っているか。
- その単元における数学は、数学的に重要な内的連関性を持っているか。
- その単元は、他の学習科目の学習との外的連関性を持っているか。
- 学びの有効な手助けとなる、適切な科学技術の手段が用いられているか。

**コミュニケーションの技量** 教員がコミュニケーションと言葉づかいを重視している数学の授業は、学生が複雑な問題について考え、推論し、解決すること、およびコミュニケーションすることの手助けとなっている。IMPのカリキュラムは、学生が彼らの考えを口述と筆記の双方の形で述べ、彼ら自身の調べあげに基づいた予想を生みだし、そして彼らがどのようにしてその解決や結論に至ったのかということを説明することを重視している。学生にあらかじめ用意したひとそろいの技法を与えるのではなく、学生に与えられる諸課題が、学生の数学のセンスを培い、彼らの思考から導き出される数学的手法を開発することを積極的に励ますものとなっている。教員が、学生のさまざまな手法による解決を励まし、その正当性を認めることで、学生に彼らの思考に価値があるということを伝えることができるのである。授業中の議論の場で、ある学生が彼自身のアプローチについて説明をしているのを見ることで、他の学生は、「正しい」アプローチを覚えなければならないというプレッシャーから解放され、安心してそれ以降の問題の探求に入ることができるようになるのである。

**科学技術の手段** 今日の科学技術の手段は、学校の外の世界で数学がどのように解かれるのか、現実世界における問題を解くために学生がどのような数学を必要とするのかという点での変化をもたらした。グラフ電卓は、学生が、計算で足をひっぱられることなしに、

解決すべき問題中の数学に焦点を当てることを可能にしている。コンピューターは、問題を解くために、あるいはそれを使わなければ極めて困難であるとか、不可能であるといった作業課題を成しとげるために用いることができる。そのため、IMP のカリキュラム開発者たちは、教室内での作業や宿題に電卓を用いることにした。また、可能なところではコンピューター技術を用いることにした。

## ②学習指導

**具体的な作業を通した学習** 大半の伝統的な授業において、学生がなすべき課題は、教員が示したやり方にならい、同じような問題に対する数値的な解を求めるというものとされている。しかし、変化し続ける世界では、学生たちに、それまでに出あったことのない問題をあつかう力と、それに自信と根気をもってとりくむことを求めているのである。IMP のカリキュラムは、学生の学びに、より具体的な作業を組みこむようにデザインされている。彼らは、厳密な形式に適合した問題にではなく、複雑で現実的な状況ととりくむことになるのである。彼らは、個別的な例から一般的な原理に移行することで、新しいアイデアを築きあげていく。彼らは、単に数値的な解を求めるということを越えたところに歩を進める。すなわち、彼らは、実際の生活の中の問題について判断をくだすために、それらの解を用いるのである。なぜならば、このカリキュラムは、機械的な技法を越えたところに移行しているからであり、それゆえ教員の役割も増大しているのである。教員は、学生に挑戦的な問いかけを行い、彼らが、みずから考え、一般化を行い、そして、いくつかの事象や考えの間の結びつきや関連性を見出すことを誘発するのである。

**協働学習** 教室での協働学習は、学習到達度に関する積極的な効果を有しており、学生の数学に対する生産的な姿勢を生みだすことにもつながる。公的な調査と教員の観察のいずれにおいても、伝統的で受身的な学習の方式のもとではついていけない学生も、具体的な作業を通した学習においては、関心を維持していることが指摘されている (NCR, 2001)。自分たちの考えを互いにコミュニケーションすることで、学生は深いレベルの理解に到達するのである。同時に、彼らが協働によって学ぶ力を増大させるに従い、彼ら自身の学び手としての、思考する者としての独立性を獲得していくことになるのである。

## ③学習評価

**埋めこまれた評価 (assessment)** 効果的な評価技術を特定しそれを用いることは、教室での思考を増進させる上でも、教育上の判断を行う上でも、また外部からの評価 (evaluation) にとっても本質的なことである。授業における評価 (assessment) は、毎日の宿題や、口述による発表、グループ内やクラス全体での討論における貢献、学生の自己評価、そして重要書類 (portfolio) などに目をやる日々の継続的過程の中に埋めこまれており、かつ多くの形をとっている。

## ④公平性

**関わり** IMP の最も大きな特長のひとつは、多様性と公平性への関わり方にある。最初のプロジェクトには、サンフランシスコ州立大学の2人の数学者と、カリフォルニア大学



バークレー校の2人の教員養成課程の教員、それに3つの高等学校からの6人の教員が加わっていた。3つの高等学校は、それぞれスラム地区の学校、都市部の学校、および農村部の学校であった。4人のディレクターは、いずれもカリキュラム開発と教員の職能育成の仕事に関わっていた。数学者は2人とも、大学の教科書を書いており、高校数学を再履修する課程のデザインも行っていた。彼らは、K12（日本の高3）の学生のコミュニティにおける数学とコンピューターの教育と、そのデザインにも関わっていた。教員養成課程の2人の教員は高等学校における数学教育の数多くの実践的体験を有しており、長年にわたり、中等教育の数学教員を対象とした、数学学習へのアクセシビリティと公平性の確保に焦点をあてた研修のプログラムを立案、組織し、そして指揮をとるということもしてきた。加えて、教員養成課程の教員は、2人とも高等学校3年生用の数学教育とコンピューター教育のための教材集を出版していた。

IMPの先行実験を行った6人の教員も豊かな教育体験を有していた。農村部の学校の教員たちは、彼らの国際バカロレア・プログラムの支えとなる数学の総合学習的カリキュラムを1年にわたって探し求めていたところであった。スラム地区の学校の教員は、そこでの新しい課程を開発していた。それは、学生たちに大学への予備課程に挑戦させることを目的としたものであった。都市部の大きな学校の教員たちは、能力別編成により、マイノリティの学生たちを出口のない袋小路のクラスに置きざりにしていることを自覚していた。

IMPのビジョンを実現するためには、これらの10人の教育者たちの専門的知識が求められていた。しかし、学生たちの重要性もまったく同様であった。最初のカリキュラム開発の過程において、3つの学校からそれぞれ100人の学生が選ばれた。数学の力量において不ぞろいな学生たちからなるこれらのグループは、その過程の一部をなしており、皆、正直さを保ち続けてくれた。それは、3年間を通した、日々、リアルタイムでなされた本当のカリキュラム開発であった。

#### ⑤教員支援

**職能育成** IMPのカリキュラムを実施するとなると、教員たちには、何をどのように教えるのかという点での大転換を求められることになる。教員がみずからの教育を改革するためには、適切な支援と訓練が決定的となる。教員の職能育成をデザインすることは、カリキュラム開発と同程度に重要なことであった。それらの教員と学校を手助けするための包括的で同時進行的な職能育成のプログラムが作りあげられた。

**教育者のコミュニティ** IMPのカリキュラムを用いる学校が国内に広がるにつれて、教員どうして助けあう力を高めあうための地域センターのネットワークが確立された。教員たちは、自分たちと同じように数学教育の改革に関わっている教育者どうしでの、地方レベルでの支援を求めた。この地域ディレクターのネットワークは、11年間にわたり、彼らの地域におけるカリキュラム実施のガイドと支援のためと、彼ら自身の職能育成のための会議を開いてきた。

## (2) プログラムの開発

### ①開発の過程

1989年、IMPは合衆国の数百の教員と1万を超える学生を巻きこみ、実験と評価のくり返す過程をスタートさせた。核となるチームは、カリキュラム中のほとんどすべての作業課題について、それらが授業で用いられる前に、みずから試行と評価を行うとともに、ワークショップ参加した教員たちともいっしょに行った。単元の開発が進むにつれて、それぞれの題材に関する熟達者たちが、現場実験が行われる前に初めの原稿の見直しを行うようになっていった。先行実験を行った6人の教員に加えて、2人のIMPディレクターが先行実験校の一つでチーム・ティーチングを行った。残りの2人のディレクターは、毎週教室に通い、学生と話をしたり、作業課題に対する彼らの反応を観察した。先行実験を行った教員たちには、彼ら自身の日々の仕事のでき具合や挑戦について語りあうという、彼ら自身の職能育成のための特別な時間が与えられた。そこでは、開発グループ全体で行われる会議に先だって、単元全体についての議論を行うということも行われた。

ディレクターおよび先行実験を行った教員たちは、6週ごとに、およそ2日間にわたり、授業で起こったことについての分析や、次に実施されることになる単元の準備のための会議を開いた。冬季合宿や夏季研修なども開かれた。

当初、意図していたことは、焦点を3つの学校だけにあてたカリキュラム開発を行い、高等学校における数学教育のもうひとつ別の方式の存在証明を与えることであった。ところが、1年目が終わる前に、他の学校の同僚たちが開発に加わることを望み、中には職能育成の特別期間中にあり、そのための基金を持っている者もいた。また、米国科学財団からの追加的資金をみつけることもでき、プロジェクトは、1年目の3校から、2年目には6校に、そして3年目には12校へと拡大していった。この大きくなった50人の教員からなるグループは「アドバイザー教員グループ」として知られるところとなった。これらの新しい学校は、他の4つの州の都市郊外の学校、および都市部の学校を代表するものであり、これらの学校に関わった教員たちは有益な結果分析を提供してくれた。単元もそれぞれ最初の先行実験後の改訂が行われ、新たに加わった学校と、最初の3校の第2の学生支援グループの間で実験がなされた。

1992年、IMPは、以下の諸課題をなし遂げることを目的とした米国科学財団からの5年間の資金援助を受けることとなった。すなわち、4年生用のカリキュラムを書くこと、それぞれの単元を書きかえてカリキュラムの有効性を高めること、カリキュラムの学生に対する有効性を評価すること、これにたずさわる教員が必要とするものを把握すること、そして地域センターがなすべき重要課題の一つとしてある、このプログラムの幅広い普及などである。この追加的資金により、IMPの各単元が、最初の現場実験以来の長期にわたる膨大な体験に加え、豊かな授業歴を有する教員たちのチームによる徹底した再点検がなされこととなった。すでに現場実験で教育にたずさわったことのある4人ないし6人の教員が、彼らが単元に再度たずさわる際の詳細なノートを残すことを目的とした資金援助を受けた。

彼らは、それを持ちより、IMP ディレクターと1日、2日会い、それぞれの単元の再点検を行った。それによって、さらなる見直しと改善がもたらされた。

1994年、改訂されたIMPの全プログラムが、4年間を通した課程としての最後の現場実験をむかえることとなった。最後の現場実験のために、最初のカリキュラム開発とはまったく関わりのなかった3つの学校が新たに選ばれた。1994年から1998年にかけて、IMP ディレクターの1人がそのうちのひとつの学校でチーム・ティーチングを行った。それらの学校の教員たちは、それぞれに授業で起こったことの詳細なノートを取り続けた。そして各単元を終えるごとに、IMP ディレクターと会い、その単元についての議論を行い、問題点が潜在していた箇所を特定し、可能な改善策を共有しあった。ディレクターたちは、出版のための最終原稿をキー・カリキュラム・プレスに手わたす前に、そうした単元の再改訂を行った。そのカリキュラムは、1年おきに各学年用ごとに出版され、1年生用が1996年の秋に、そして最後に4年生用が1999年の秋に出されて完結した。

## ②潜在的障壁

このプログラムを実施する上でのひとつの潜在的障壁は、さまざまな背景を持った不ぞろいな学生たちのクラスにおいて、たったひとつのカリキュラムでうまく行くはずがないと考える、ある種の学校管理職や、カウンセラー、教員、学生、そして親たちの信念である。私たちのIMPの実施体験によれば、複雑で、答を限定しえない（open ended）問題を配してくみだてられたカリキュラムにおいては、多岐にわたる洗練性のレベルでの探求が可能となるということを示している。各単元の中心的問題は、最も明晰な学生に対する挑戦となるほどの豊かさと、すべての学生にとって意味のある学びとなりうる具体性を備えている。さらに、補充問題は、内容をより広く、かつ高い水準にひき上げるものとなっている。

もうひとつの潜在的障壁は、教員たちが、みずからの教員としての役割について反省し、議論をするための特別な時間を見つけだすことができるかという点にあった。IMPを用いる教員は、学生自身による学びを確実に前進させることのできる、鋭い観察者であり、積極的な聞き手であり、そして熟達した進行係であることが求められる。そうした教員の仕事は、学生たちに挑戦的な問いかけを行い、彼らが、みずから考え、一般化を行い、そして数学的なアイデアの間の結びつきや関連性を見出すことを誘発することである。これらすべてのことは、時間と、反省、および実践を必要としている。それゆえ、1996年のカリキュラムが出版される以前に、先行実験や、現場実験を行う、あるいはカリキュラム題材の原稿を使うことを望んだすべての教員が、職能育成のための特別な時間を要求したのであった。もし、カリフォルニア州による最初の資金援助や、私的基金からの支援、あるいは米国科学財団からの大きな資金援助といったものがなければ、このことの実現はありえないことであっただろう。これらの資金がこの障壁を克服し、カリキュラムをデザイン通りに実施することを可能としたのである。

のり越えることのできなかつた障壁は、コンピューター技術をカリキュラムの中にしっ

かりとくみ込むことであった。先行実験の段階において、ディレクターたちは、多くの高等学校が数学の学生にコンピューターを使わせる環境を持っていないことに気づいた。数学の授業のために必要とされるコンピューター室をあまねく用意するというようなことは、考えるだけでも悪夢のようなことであった。とはいえ、ほとんどすべての教員が彼らの教室に1台のコンピューターを持ち込むことができる状況にはあった。そのため、カリキュラムのデザインはその環境を想定して行うことにし、その替りに、グラフ電卓を教室で用いる科学技術の主要な手段とすることとしたのであった。

長期にわたる幅広い支援をうけたことで、このプロジェクトは、その核となる信念についていかなる妥協も求められることがなかった。すなわち、私たちは、私たちのビジョンを実現するための時間と資金が与えられていた。ディレクターたちは、彼らの多様な専門知識を、すべての学生にとってよりよい助けとなるようなカリキュラムの開発に生かすため、8年以上にわたり週に一度の会議を持ち続けてきた。

### (3) 結論

たとえ十分に適切な開発過程を伴うものであったとしても、思慮に満ちたデザイン原理だけで新しいカリキュラムの実施の成功が保証されると考えるならば、それは愚かなことである。長期の使用に耐えるカリキュラムの本質的な要素としては、他に、多様性と一貫性をかね備えたリーダーシップ、公平性に対する責任のある関与、カリキュラムと結合した職能育成、カリキュラム実施を支援するための地域センターのネットワークの確立、あなたとビジョンを共有する協力的出版社などがあげられる。

### 文献 (第3節)

- Fraser, Sherry. (2005). Designing and Developing Interactive Mathematics Program, Mathematics Curriculum Design and Development Presession, National Science Foundation Instructional Materials and Design Conference, Washington, DC.
- California Department of Education. (1992). Mathematics Framework for California Public Schools, Scrament, CA.
- Clifornia Postsecondary Education Comission. (1989). Request for Proposals, Secondary Mathematics Eisenhower Grant, Sacramento, CA.
- Kilpatric, et al. (2003). A Research Companion to Principles and Standards for School Mathematics, National Council of Teachers of Mathematics Education. Reston, VA.
- Kravemeijer, Koeno. (1994). Educational Development and Developmental Research in Mathematics Education, Journal for Research in Mathematics Education. 25, no. 15:445.
- National Research Council. (2001). Adding It Up: Helping Children Learn Mathematics. J. Kilpatric, J. Swaford, & B. Findell (Eds). Mathematics Learning Study Committee, Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: National Academic